



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Estimación del peso de la madera de poda en el viñedo mediante técnicas de visión artificial.

Autor/es

JON GARAY ANGUIANO

Director/es

MARÍA PAZ DIAGO SANTAMARÍA y MANUEL JAVIER TARDÁGUILA LASO ,

Facultad

Facultad de Ciencia y Tecnología

Titulación

Grado en Enología

Departamento

AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN

Curso académico

2017-18



Estimación del peso de la madera de poda en el viñedo mediante técnicas de visión artificial.

, de JON GARAY ANGUIANO

(publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.

Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

© El autor, 2018

© Universidad de La Rioja, 2018

publicaciones.unirioja.es

E-mail: publicaciones@unirioja.es



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Facultad de Ciencia y Tecnología

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Titulación

Estimación del peso de la madera de poda en el
viñedo mediante técnicas de visión artificial

(assessment of pruning weight in the vineyard by
computer vision techniques)

Realizado por:

Jon Garay Anguiano

Tutelado por:

Manuel Javier Tardáguila Laso

María Paz Diago Santamaria

Logroño, Junio 2018

ÍNDICE

ÍNDICE	1
0. AGRADECIMIENTOS.....	2
1. RESUMEN	3
1. ABSTRACT	4
2. INTRODUCCIÓN	5
2.1 PESO DE LA MADERA DE PODA	5
2.2 NUEVAS TECNOLOGIAS EN VITICULTURA	7
2.3 LA VISIÓN ARTIFICIAL EN VITICULTURA	9
3. OBJETIVOS	11
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
4.1 CARACTERÍSTICAS DEL VIÑEDO EXPERIMENTAL	12
4.2 ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES	16
4.3 PRE-PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES	18
4.4 PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES.....	21
4.5 PESAJE MANUAL DE LA MADERA DE PODA	25
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
6. CONCLUSIONES	30
7. BIBLIOGRAFIA	32

0. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mis tutores del Trabajo Fin de Grado Javier Tardáguila y María Paz Diago, profesores de la Universidad de La Rioja, por ofrecerme los medios y el apoyo para desarrollar este trabajo. Además, a los investigadores del grupo televitis por ayudarme con la toma de imágenes y procesamiento de las mismas.

En segundo lugar a mis padres por estar siempre apoyándome y ayudándome en todo lo posible. También al resto de mi familia, porque sin ellos nada de esto tendría sentido

Y en último lugar a mis amigos, por darme la fuerza necesaria para seguir adelante en todos mis proyectos. También a las personas que han pasado por mi vida en estos 4 años de Grado, esas personas que hacen que el día a día sea mucho más fácil, sin importar el donde ni el porque.

1. RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Grado se ha llevado a cabo la estimación del peso de la madera de poda mediante visión artificial, comparándolo con una estimación tradicional del peso de la madera de poda.

Con la realización de este estudio se pretende demostrar que es posible estimar el peso de la madera de poda mediante visión artificial, de forma continua y no invasiva.

Este método se ha llevado a cabo en dos viñedos de tempranillo, conducidos en espaldera y cordón libre, y que están situados en la localidad de Logroño (La Rioja). Se realizó con la ayuda de un ATV (all terrain vehicle), una cámara de alta resolución y otra serie de componentes que ayudaron la obtención de las imágenes.

Los resultados obtenidos prueban la efectividad de la técnica, obteniendo datos muy proximos al peso real de los sarmientos.

La visión artificial ha resultado ser un método fiable a la hora de medir el número de píxeles de madera de poda y estimar así el peso real de la madera de poda de forma continua, no invasiva y nos va a permitir diferenciar el viñedo en función de su vigor.

1. ABSTRACT

In this Project has been carried out the estimation of the weight of the pruning wood by artificial vision, comparing it with a traditional estimate of the weight of the pruning wood.

The purpose of this study is to demonstrate that it is possible to estimate the weight of pruning wood by artificial vision, continuously and non-invasively.

This method has been carried out in two vineyards of Tempranillo, which are trained in espalier and free cord, and which are located in the town of Logroño (La Rioja). It was done with the help of an ATV (all terrain vehicle), a high resolution camera and another series of components that helped to obtain the images.

The results obtained prove the effectiveness of the technique, obtaining data very near to the real weight of the shoots.

Artificial vision has turned out to be a reliable method to measure the number of pruning wood pixels and thus estimate the real weight of pruning wood continuously, non-invasively and will allow us to differentiate the vineyard according to its vigor.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 PESO DE LA MADERA DE PODA

Cuando se habla de madera de poda se hace referencia a la madera de un año, que se ha desarrollado a partir de una yema latente del año anterior y que se elimina al año siguiente.

En cultivos agrícolas perennes, como viñedos, la medición del volumen de madera es un índice importante para evaluar la producción de biomasa y el almacenamiento de carbono. El peso de esta interesa para estimar el índice de vigor del viñedo. En la viticultura, el conteo y el peso de la madera de un año (sarmientos) en la poda es el más informativo para indicar el equilibrio de la vid (Smart y Robinson, 1991)

También es conocido que la biomasa total de la madera se correlaciona bien con los índices de reflectancia del dosel en vides (Stamatiadis et al., 2006). Por lo tanto, el peso de madera de poda recolectado manualmente es comúnmente utilizado para validar la estimación del volumen del follaje de la vid en estudios de Viticultura de Precisión (Grocholsky et al., 2011).

En la actualidad gran parte de los parámetros del viñedo son estimados de forma manual, lo que lo convierte en una tarea costosa y lenta. Una alternativa que podría automatizar y dotar de mayor objetividad estas tareas sería la visión artificial.

La forma tradicional de obtener el peso de la madera de poda, hasta el momento, ha sido la de realizar la poda del viñedo y con esos sarmiento realizar una pesada por planta, para así poder obtener el peso real de madera de poda que tenía cada cepa. De esta forma, es posible estimar

el vigor del viñedo, tanto por cepa como por diferentes zonas dentro de un viñedo.



figura 1: viñedo en espaldera antes de realizar la poda. Imagen obtenida de <http://www.vitivinicultura.net/calendario-trabajos-vinedo-por-mes-7.html>

2.2 NUEVAS TECNOLOGIAS EN VITICULTURA

En la agricultura cada vez aparecen mayor número de innovaciones que permiten trabajar de forma mas cómoda y con mayor precisión. Tambien permite determinar las diferentes características de interes de nuestros cultivos. De esta forma aparecen nuevas tecnologías que aportan esa precisión de cara a la medición de todos estos parámetros.

En el ámbito de la viticultura no iba a ser menos, cada día aparecen técnicas innovadoras que van a hacer el control del viñedo de una forma mas eficiente y permitiendo controlar parámetros que son de interés para conocer el estado del viñedo.

A raíz de aquí aparece el término Viticultura de Precisión. Este término engloba todas estas técnicas que nos permiten monitorizar el viñedo y optimizarlo en función de nuestros intereses, obteniendo viñedos y uvas de mayor calidad.

La viticultura de precisión, a diferencia con las técnicas de manejo tradicionales, favorece una producción de cultivos más eficiente, reduciendo el desperdicio y el impacto ambiental (Cook et al., 1998, Bongiovanni y Lowenberg-Deboer 2004). El término viticultura de precisión se refiere a la gestión específica del sitio de los viñedos, o más específicamente al concepto de "aplicar el tratamiento correcto en el lugar correcto en el momento adecuado" (Gebbers y Adamchuk 2010).

Con la ayuda de las nuevas tecnologías se consigue evitar, por una parte, el tiempo que se pierde en realizar la poda y el pesaje de la madera de poda de cada cepa por separado, ya que la medida realizada mediante visión artificial se puede hacer de forma continua, y por otro lado, es un

método no invasivo, sin necesidad de destruir o alterar el estado del viñedo para tomar la medición.

La visión artificial es un método de trabajo rápido, de medición continua y de aplicación no destructiva, y que pronto se impondrá a los métodos tradicionales por ser mas fructuoso que el anterior.

La combinación de nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura, como la visión artificial, la robótica agrícola o el geoposicionamiento por satélite están penetrando con fuerza en este sector para reducir costes, manejo eficiente del cultivo, aumento de rendimiento y calidad de producto, y ya se está utilizando, por ejemplo, en viticultura de precisión.

2.3 LA VISIÓN ARTIFICIAL EN VITICULTURA

Los sistemas basados en visión artificial son potentes herramientas capaces de automatizar con precisión diferentes tareas de inspección en viticultura. Estas técnicas han permitido realizar estimaciones generales de la variación de vigor vegetativo a lo largo del viñedo, así como algunas características de la cepa, como el área foliar o la exposición de racimos directamente en el campo de una manera rápida y efectiva (Blasco *et al.*, 2014).

Esta tecnología ya se aplica de forma extendida en otros sectores de la agricultura para reducir los costes de producción y manipulación del producto, redundando en una mayor competitividad de las empresas que lo utilizan (Cubero *et al.*, 2011; Lorente *et al.*, 2012). En la actualidad se están desarrollando diversas aplicaciones basadas en visión artificial, como las predicciones de cosecha (Nuske *et al.*, 2011), el control del estado del cultivo (Sáiz-Rubio y Rovira-Más, 2012) o la robótica agrícola para la realización de diversas actividades en el campo, incluyendo la recolección mecanizada diferenciada o la detección y eliminación de malas hierbas empleando métodos respetuosos con el medio ambiente (Ruixiu *et al.*, 2008).

Dentro del ámbito de la viticultura de precisión existen dos formas de realizar las mediciones; de forma destructiva o no destructiva.

Las mediciones destructivas son aquellas que destruyen o extraen parte de las plantas para realizar la medición, son denominados sensores invasivos, mientras que las no destructivas son aquellas que permiten realizar la medición sin necesidad de destruir o extraer una parte de la planta, sensores no invasivos.

En algunos casos se utilizan sistemas basados en escaneado laser, Lidar (Laser Imaging Detection And Ranging), para adquirir los datos, que pueden ser aerotransportados o mediante vehiculos todoterreno.

Los escáneres láser aerotransportados proporcionan información espectral en áreas extensas, pero son caros, especialmente cuando se necesitan conjuntos de datos multitemporales (Lumme et al., 2008). Por otro lado, los sensores de tierra brindan la capacidad de obtener múltiples conjuntos de datos con alta resolución a bajo coste y son altamente eficientes al realizar mediciones de rango cuando se monta en maquinaria agrícola (Rosell-Polo et al., 2009). La posición de los sensores de tierra es importante cuando se usa para medir las características del dosel.

Los sensores Lidar son caros y delicados, además sus aplicaciones comerciales son limitadas (Wolcott and Eustice 2014).

3. OBJETIVOS

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado era estimar el peso de la madera de poda mediante técnicas no invasivas basadas en visión artificial, en un viñedo de la variedad Tempranillo en condiciones de campo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 CARACTERÍSTICAS DEL VIÑEDO EXPERIMENTAL

El viñedo experimental estaba situado en la Comunidad Autónoma de La Rioja, en la Localidad de Logroño. Era un viñedo plantado en el año 2004, de la variedad Tempranillo y con portainjerto R-110.



Figura 2: : Mapa de España, división de la DOCa Rioja y posición en el mapa de donde se encuentra el viñedo analizado. imágenes obtenidas de <https://es.wikipedia.org/> y <https://www.pinterest.es/>

El viñedo que se analizó para la realización del estudio estaba conducido en dos formas de conducción, en espaldera y en cordón libre. La espaldera con un marco de plantación de 2,30 X 0,90 m mientras que el cordón libre tiene un marco de plantación de 2,80 X 0,90 m.

Ambas están dispuestas en una orientación Norte-Sur.

El suelo del viñedo se encuentra dividido en 5 horizontes, en los que las capas más superficiales tienen una alta densidad radicular, alto contenido en sólidos de gran tamaño y con gran contenido en materia orgánica, y que a medida que vamos disminuyendo hay cada vez menos cantidad de

materia orgánica, el suelo esta mas compactado y la densidad radicular desaparece, hasta llegar a la roca madre.

Se trataba de un viñedo con cubierta vegetal y con sistema de riego, para poder manejar el desarrollo vegetativo del viñedo. De esta forma se evita el desarrollo excesivo de la vegetación, evitando tener hojas sombreadas, con un consumo elevado de fotoasimilados.



figura 3: Viñedo en cordón libre en el que se realizó parte del estudio.



figura 4: Viñedo en espaldera en el que se realizó parte del estudio.

4.2 ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES

Las imágenes de vid, capturadas sobre la marcha, fueron tomadas durante la noche del 24 de Enero de 2018 utilizando un ATV (all terrain vehicle) de la marca (Trail Boss 330, Polaris Industries, Minnesota, EE. UU.) moviéndose a 7 km/H. El vehículo estaba equipado con un Sony Alpha 7-II Cámara digital sin espejo 152 (Sony Corp., Tokio, Japón) montada a 100 cm del suelo y 250 cm del dosel, con una lente Zeiss Vario-Tessar FE 24-70 mm con estabilización óptica.

Las 160 imágenes tenían una resolución de 24 Mpx (6000 x 3376 píxeles), en el espacio de color RGB con 8 bits por canal. La cámara tiene un sensor CCD de alta sensibilidad capaz de obtener imágenes de alta calidad a grandes velocidades de disparo, a pesar de las vibraciones generadas por el terreno desigual y las vibraciones del motor ATV.

Las imágenes fueron capturadas por la noche para evitar que aparezcan objetos por la parte trasera de las vides. Para ello se utilizaron 157 900 LED de panel Bestlight y dos luces LED Travor Spash IS-L8 para la iluminación de la escena.

El ATV (all terrain vehicle) fue equipado con una estructura mecánica ajustable que se puede fijar a diferentes alturas y profundidades para adaptarse a las vides. La estructura también brindó protección contra el impacto del dosel y permitió la instalación del equipo de iluminación. La cámara fue disparada por un controlador personalizado basado en Arduino Mega (Arduino LLC, Ivrea, Italia). El controlador genera una señal de disparo basada en la información recibida de un sensor inductivo unido al eje trasero, que se activa una vez cada 0,7 metros.



Figura 5: Vehículo todoterreno modificado equipado con una cámara digital, sistema de disparo automático, iluminación en una estructura ajustable y receptor GNSS para la georeferenciación utilizada para la adquisición de imágenes sobre la marcha para estimar el peso de poda. Equipo y fotografía pertenecientes al grupo de investigación Televitis de la Universidad de la Rioja.

4.3 PRE-PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

Se obtuvieron 152 imágenes del viñedo en cordón libre de las cuales se seleccionaron las mejor enfocadas, dejando solo una por planta. Por lo tanto se seleccionaron 82 fotos del cordón libre.

En el viñedo en espaldera se realizó la misma tarea. De las 162 imágenes originales se seleccionaron las mejor enfocadas, dejando también una por planta, con lo que dejamos 78 fotos.

El recorte se realizó utilizando un programa determinado que nos permitió realizar tanto recortes rectangulares como recortes a mano alzada dibujando el perfil de la zona de interés.

El programa utilizado se llama GIMP y es una herramienta útil a la hora de realizar este tipo de recortes.

En primer lugar, realizamos la selección anteriormente citada de las imágenes que mejor enfocadas estaban, para después seguir con los diferentes recortes.

Se realizaron dos tipos de recortes; recorte vertical, en el que se dejó la longitud completa de las imágenes de origen, y después se realizó un recorte mediante el cual se eliminó también el cordón, dejando únicamente los sarmientos para evitar errores con el procesamiento de las imágenes.

Para realizar estos recortes se han de seguir una serie de pasos:

1. Abrir las imágenes en GIMP
2. Realizar el recorte de las dos formas diferentes:
 - a. Recorte rectangular: se realiza mediante la “herramienta de recorte” que nos permite quitar zonas del borde de la imagen en forma rectangular o cuadrada.

- b. Recorte por puntos: se realiza mediante la herramienta de selección libre que permite seleccionar una región dibujada a mano con segmentos libres y poligonales mediante el cual eliminamos todo lo que no interesa de la imagen sin necesidad de que sea un recorte rectangular. Es algo mas costoso pero permite acercarse mas a la perfección.

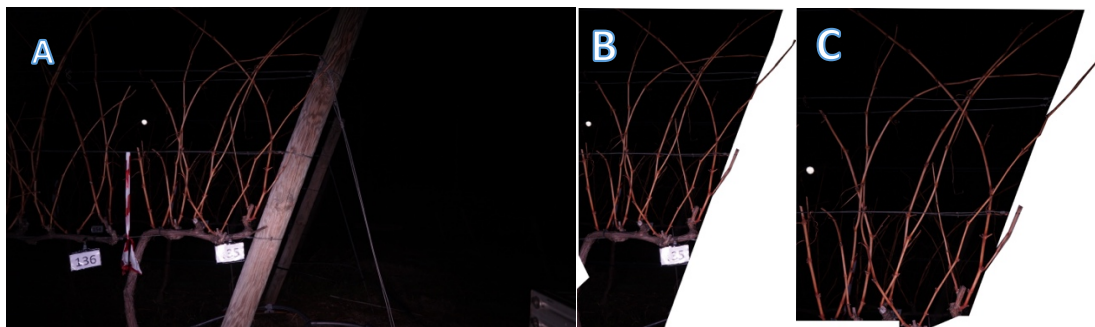


Figura 6: imagen original (A), foto con recorte vertical y recorte por puntos con cordón (B), y foto con recorte por puntos sin cordón (C).

3. Exportar las imágenes recortadas a las carpetas creadas en las que lo dividimos en diferentes bloques:
 - a. Por un lado separamos las fotos entre los dos tipos de viñedos; espaldera o cordón libre.
 - b. Por otra parte hicimos cuatro bloques en los que separamos las fotos originales, las fotos seleccionadas, las fotos con un recorte en el que permanece la zona inferior de la foto, incluyendo el cordón, y por ultimo otro bloque en el que estarían las fotos en las que solo salen los sarmientos, eliminando de la imagen el cordón y la parte baja de la imagen.

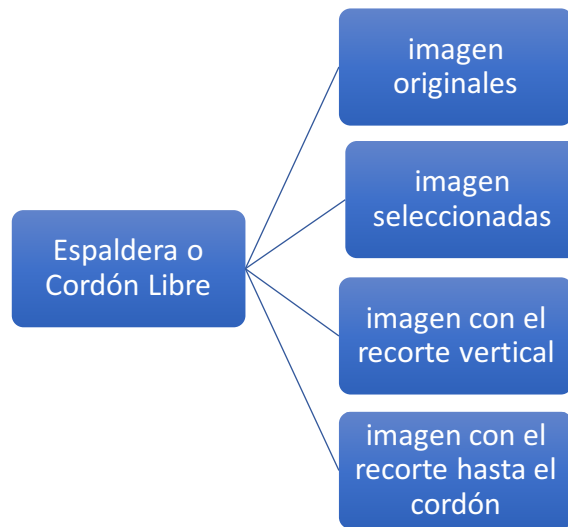


Figura 7: Preprocesamiento de imágenes..

4.4 PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

Esta tarea fue realizada en colaboración con el grupo de investigación TeleVitis, los cuales utilizando una nueva tecnología de visión artificial procesaron las 160 imágenes obteniendo el número de píxeles que correspondían a sarmiento de cada imagen.

El procesamiento de las imágenes se ha llevado a cabo mediante un programa llamado MATLAB, esta plataforma está optimizada para resolver problemas científicos y de ingeniería. El lenguaje MATLAB está basado en matrices y es la forma más natural del mundo de expresar las matemáticas computacionales.

La herramienta utilizada para el procesamiento está basada en un algoritmo desarrollado en MATLAB, como ya hemos descrito anteriormente. El procedimiento consistió en dos pasos:

1. Definición de la región de interés (ROI): Las imágenes adquiridas incluían no solo los brotes de la vid considerados sino otras partes como el tronco, otras vides o suelo entre otros. Un ROI fue seleccionado manualmente por un operador utilizando una aplicación Matlab desarrollada a medida para abarcar solo la región que se segmentará.
2. Procedimiento de segmentación: las imágenes se convirtieron primero a escala de grises al eliminar el tono y la información de saturación mientras se conservaba la iluminación. Luego se aplicó el método de Otsu (Otsu, 1979) sobre el histograma de valores de píxel para establecer automáticamente un umbral (*Totsu*) para cada imagen en escala de grises (*IG*), separando así los brotes del fondo. Para eso, el método de Otsu supone que la imagen contiene dos tipos de píxeles correspondientes a diferentes clases (primer plano y fondo)

y que la intensidad de estos píxeles se distribuye en un histograma bimodal. Millan et al. (2018)

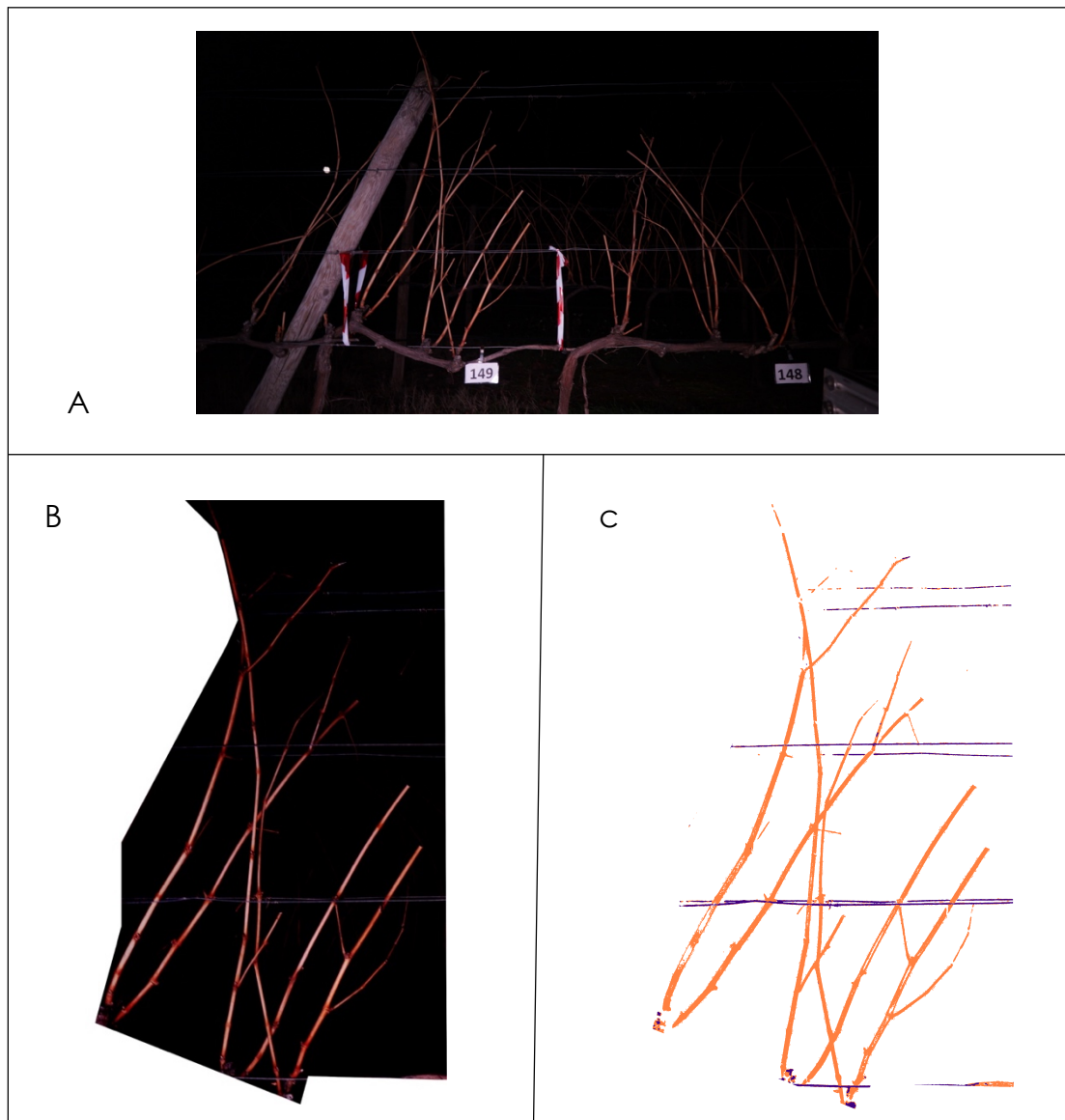


Figura 8: Procesamiento completo de la imagen. imagen original (A), recorte y ecualización del histograma (mejora el contraste de la imagen, reparte de forma más o menos uniforme los valores del histograma) (B) y procesamiento final (C). Cepa 149 en espaldera

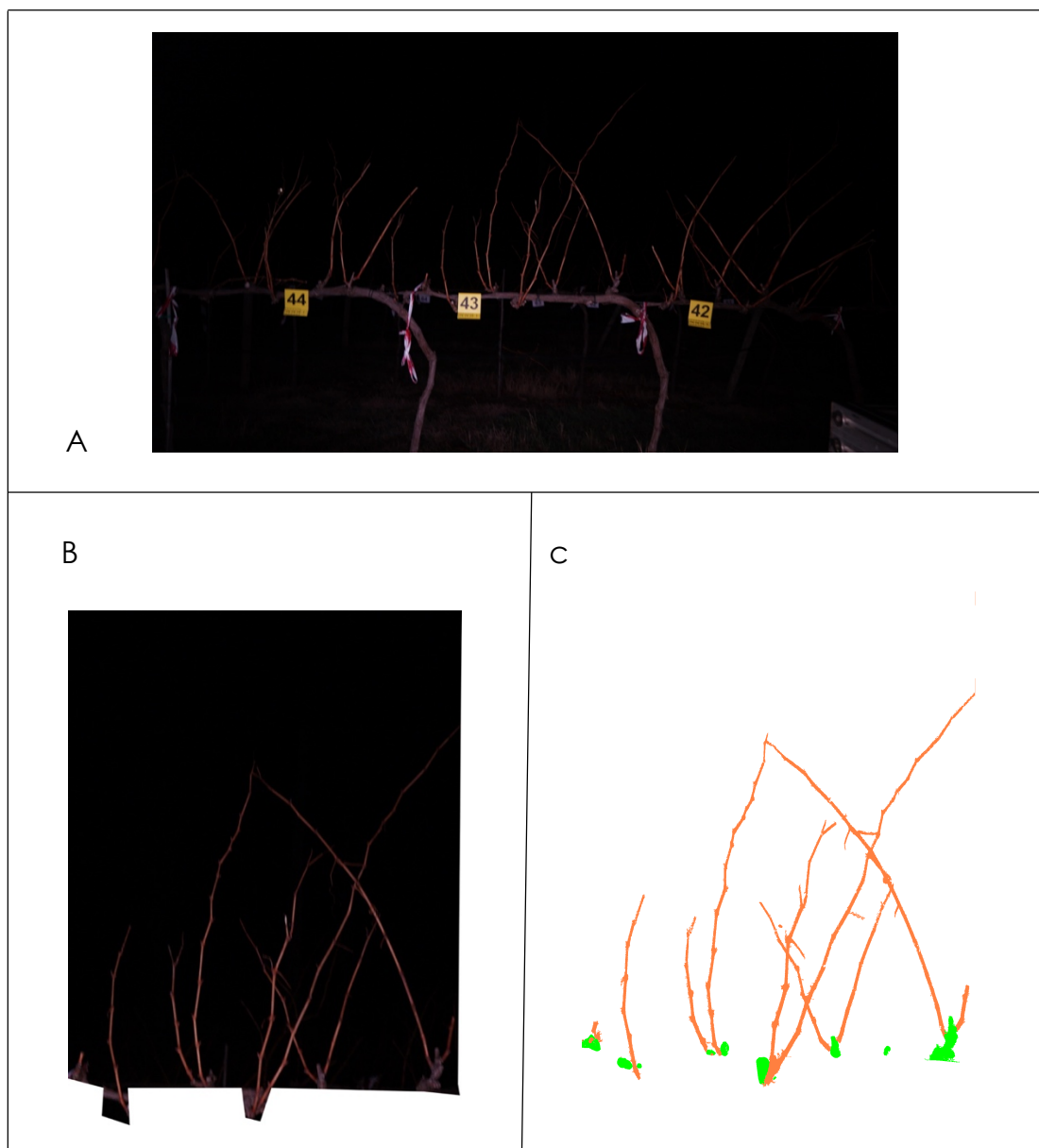


Figura 9: Procesamiento completo de la imagen. imagen original (A), recorte y ecualización del histograma (mejora el contraste de la imagen, reparte de forma más o menos uniforme los valores del histograma) (B) y procesamiento final (C). Cepa 43 en cordón libre

4.5 PESAJE MANUAL DE LA MADERA DE PODA

La poda de los dos viñedos se realizó el día 25 de Enero, tanto el viñedo en Espaldera como el viñedo en Cordon Libre. Ambos viñedos fueron podados y de inmediato se midió el peso del sarmiento mediante una balanza.

La poda se realizó en cordón simple, eliminando el pulgar del año anterior y dejando un pulgar con el sarmiento de este año. De esta forma, lo que se peso únicamente son los sarmientos que eliminamos. Mientras tanto, con la ayuda del grupo de investigación TeleVitis, se fue realizando la pesada de los sarmientos de cada una de las vides por separado.

Este procedimiento nos fue útil a la hora de validar los resultados obtenidos mediante el método de visión artificial, relacionándolo con el número de píxeles obtenidos mediante dicho método.



Figura 10: Imágenes de la poda (A) y el pesaje de los sarmientos (B).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del procesamiento de las imágenes se llevaron a unas gráficas donde relacionamos el peso real de la madera de poda, con el número de píxeles de madera, obtenidos mediante el estudio realizado.

Gracias a estas gráficas, podemos observar de forma mas visual los resultados del estudio. En las figuras 12 y 13 se puede apreciar como la relación peso-píxeles tienen una relación lineal.

La técnica utilizada en este estudio es muy interesante a la hora de diferenciar el viñedo en zonas donde las condiciones de suelo no sean homogéneas en toda la parcela. Permite diferenciar por zonas las partes del viñedo menos y mas vigorosas y así poder realizar fertilizaciones, riegos, etc... de forma mas precisa y teniendo en cuenta las características de cada zona.

Existen estudios realizados, donde las imágenes obtenidos se georeferencian con la ayuda de un Gps. De esta forma, obtenemos una imagen de la parcela dividida por zonas donde el vigor es diferente.

Se puede apreciar como en la estimación del peso de la madera de poda mediante esta técnica, es mas efectiva en cordón libre que en espaldera, pues el valor de R^2 es superior en el gráfico de cordón libre que en el de espaldera.

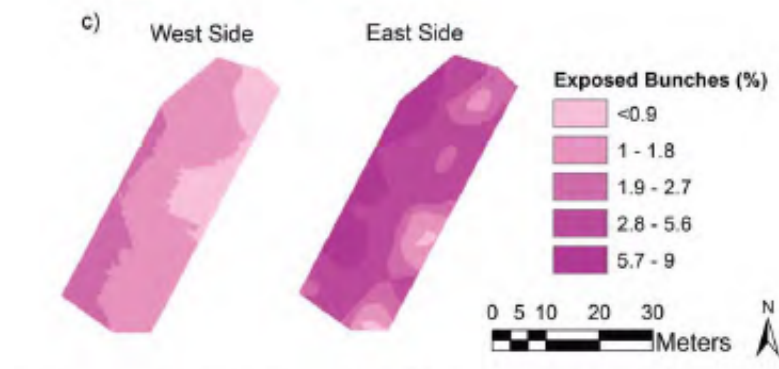


Figura 11: Ejemplo de mapa de geoposicionamiento de imágenes en estudios sobre exposición de racimos. (Millan , 2017)

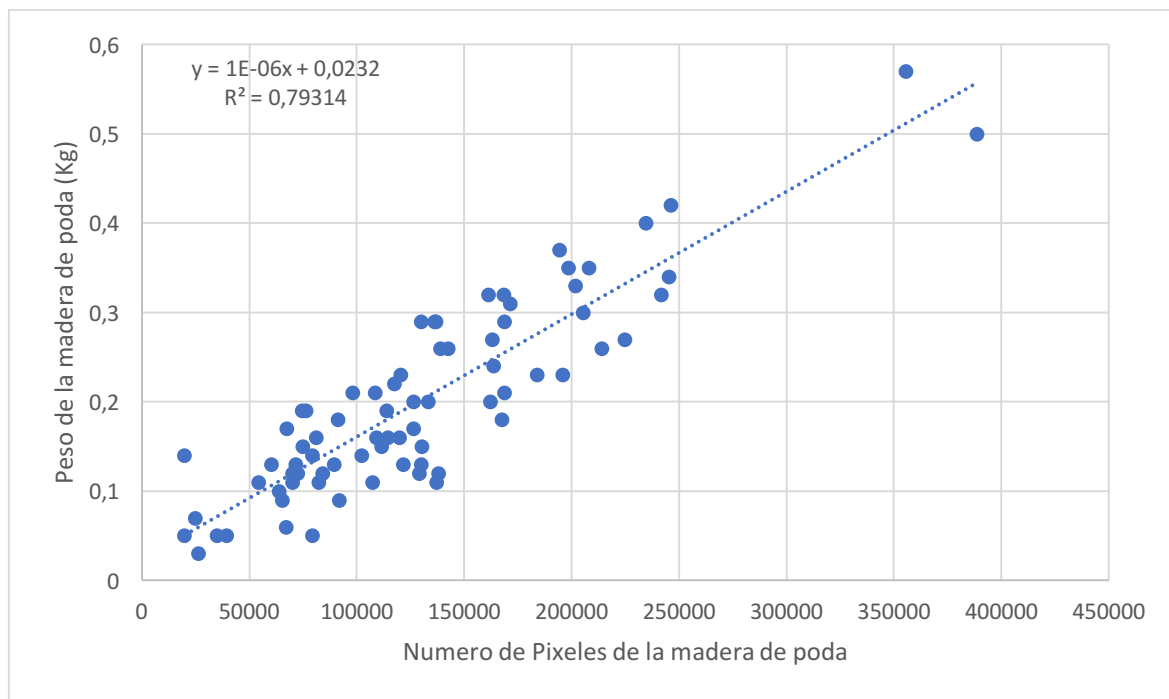


Figura 12: Relación entre el peso de la madera de poda y numero de pixeles que le corresponden en el sistema de Cordón libre.

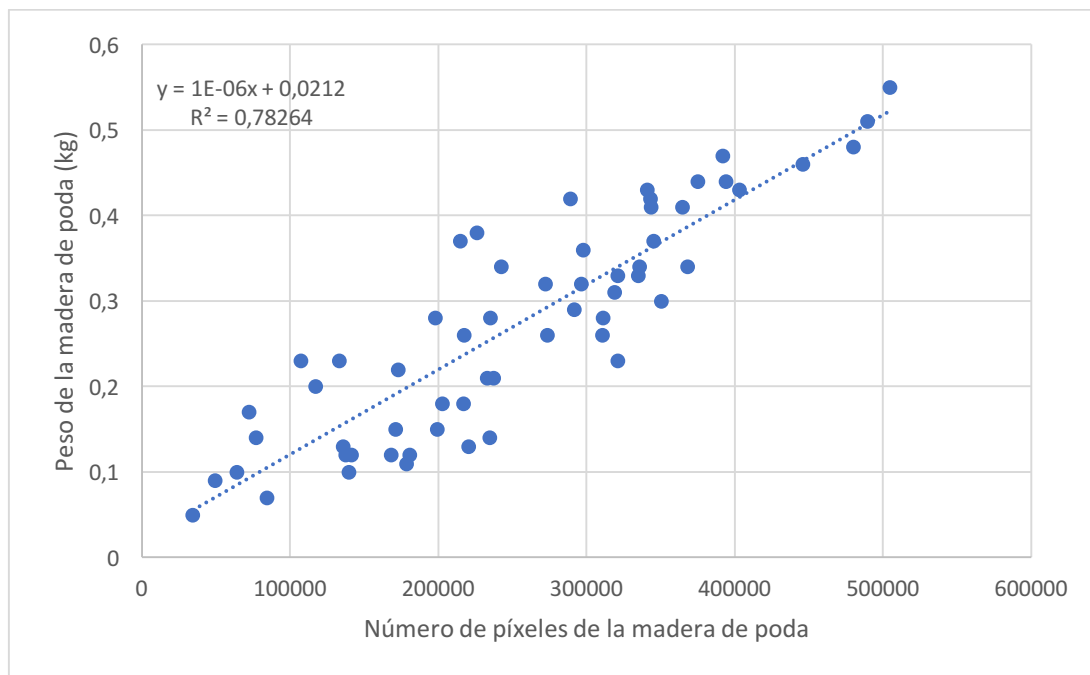


Figura 13: Relación entre el peso de la madera de poda y numero de pixeles que le corresponden en el sistema de Espaldera.

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio sobre estimación de madera de poda mediante visión artificial, han permitido obtener las siguientes conclusiones:

Este método ha servido para poder estimar el peso de madera de poda mediante visión artificial y evitando utilizar en un futuro técnicas invasivas para saber el peso real de la madera de poda, simplemente utilizando la imagen como método alternativo.

La visión artificial ha permitido obtener el número de píxeles y obtener así una correlación entre el peso de la madera de poda y el número de píxeles.

Se trata de una estimación capaz de aproximarse a la realidad, que aporta datos que una vez analizados permitirán diferenciar entre las diferentes zonas de un viñedo. Esto se puede realizar de forma manual posicionando el número de planta en el mapa o de forma automática. De esta forma nos ahorraríamos el posicionar los datos de cada planta por separado obteniendo resultados mucho mas visuales y fáciles de interpretar

Gracias a esta diferenciación de las zonas del viñedo, podremos realizar tareas de fertilización, riego etc... de formas diferentes que cada una de estas zonas. Se trata de un método muy adecuado para manejar el viñedo de una forma eficiente, y contrarestando los "deficits" que este pueda tener en sus diferentes zonas.

Este es un método que evitaría muchas horas de trabajo en toma de muestras y que se realizaría de forma semi-automática, porque el ATV necesita un operario, pero nos facilita la toma de muestras.

En un futuro también sería conveniente evolucionar y colocarse a tractores que puedan ir a mayor velocidad y que sean más estables que un ATV, disminuyendo los tiempos de obtención de imágenes e intentando obtener imágenes de la misma resolución. Esto junto con el geoposicionamiento, para la obtención del mapa de la parcela en el momento, lo harían un método de trabajo muy eficiente y que ahorraría muchas horas de trabajo, tanto en campo como en el procesamiento de las imágenes.

7. BIBLIOGRAFIA

- Blasco J., Diago M.P. , Rovira-Más F., Aleixos N., Sáiz-Rubio V., Cubero S., Millan B., Prats-Montalbán J. M., Tardaguila J., (2014). Aplicaciones de la visión artificial en viticultura (I).
- Tagarakis A., Liakos V., Chatzinikos T., Koundouras S., Fountas and T. Gemtos S. (2013). Usin laser scanner to map pruning wood in vineyards. J.V. Stafford (ed.) Precision agriculture '13,
- Millan B., Diago M.P., Aquino A., Tardaguila J. (2017). A new machine vision based method to assess the grapevine pruning weight on-the-go. American journal of Enology and Viticulture.
- Tagarakis A. C., Koundouras S., Fountas S., Gemtos T. (2017) Evaluation of the use of LIDAR laser scanner to map pruning wood in vineyards and its potential for management zones delineation.
- Sáiz-Rubio V., & Rovira-Más F. (2012). Dynamic segmentation to estimate vine vigor from ground images. Spanish Journal of Agricultural Research 10 (3), 596-604.
- Martínez de Toda, F. (2011). Claves de la viticultura de calidad. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Millán, B. (2017). Applications of computer vision techniques in precision viticulture. Tesis doctoral, Universidad de la Rioja.
- Alessandro Matese & Salvatore Filippo Di Gennaro. (2015). Technology in precision viticulture: a state of the art review. International Journal of Wine Research.

Hidalgo Fernández-Cano L., Hidalgo Togores J. (2011). Tratado de Viticultura. 4ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-México.

Reynier A. (1995). Manual de Viticultura. 5º Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-México.

Smart, R.E. and Robinson, M. (1991) Sunlight into Wine: A Handbook for Winegrape Canopy Management. Winetitles, Adelaide

Grocholsky B., Nuske S., Aasted M., Achar S., Bates T., (2011). A Camera and Laser System for Automatic Vine Balance Assessment

Rosell, Jr; Llorens, J; Sanz, R; et al. (2009) Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning